Bestimmung der inneren Reibung von Roh- und Gußeisen nach dem Torsionsverfahren

Von der Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Otto Gessner
aus Breslau

Berichterstatter: Prof. E. Diepschlag
Gegenberichterstatter: Prof. Dr. R. Suhrmann

Tag der mündlichen Prüfung: 21. März 1938

Breslau 1938

1938

Leopold Voss in Leipzig

* 43583

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

D 85

Sonderabdruck aus der Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie
Band 239 (1938) Heft 2

Printed in Germany

Die innere Reibung, Zähigkeit oder Viskosität ist eine Grundeigenschaft der Flüssigkeiten, die oft zu ihrer Kennzeichnung benutzt wird, sie beruht auf der Reibung von Flüssigkeitsschichten gegeneinander. Die Zähigkeit 1 ist vorhanden, wenn in einer strömenden Flüssigkeit die Geschwindigkeit senkrecht zur Strömungsrichtung linear abfällt und auf die Flächeneinheit (1 cm^2) zwischen je zwei Schichten im Abstand 1 (1 cm) die Schubkraft 1 (1 dyn) ausgeübt wird. Diese dynamische Konstante hat die Dimension:

$$\eta = [cm^{-1} \cdot g \cdot s^{-1}] = [dyn \cdot cm^{-2} \cdot s].$$

Die Einheit bezeichnet man mit „Poise“ (abgekürzt P), der hundertste Teil davon ist ein „Zentipoise“, (abgekürzt cP). Den reziproken Wert $\frac{1}{\eta}$ der dynamischen Zähigkeit nennt man Fluidität, gekennzeichnet durch den Buchstaben φ.

Die kinematische Zähigkeit, allgemein mit v bezeichnet, ist durch die Gleichung $v = \frac{\eta}{\varrho}$ bestimmt, darin ist ϱ die Dichte in g/cm^3; sie wird in Stok (St) bzw. Zentistok (cSt) = 0,01 St gemessen; 1 St = 1 cm^2/s.

Um eine Vorstellung von der Größenordnung dieser Einheiten zu haben, seien folgende Beispiele genannt:

Luft bei 0° hat die Zähigkeit $1720 \cdot 10^{-7}$ Poise, Wasser bei 20,2° 0,010 P, Rüböl bei 20° rd. 1 P und Rizinusöl bei 20° rd. 10 P.

Obgleich die Bedeutung der inneren Reibung auf dem Gebiet der Metallurgie des Eisens und Stahls seit langem erkannt ist, liegen bisher nur Ansätze zur Bestimmung solcher Werte vor. Das

liegt daran, daß zur unmittelbaren Ausführung solcher Messungen ganz erhebliche apparative Schwierigkeiten infolge der hohen Schmelztemperaturen dieser Metalle auftreten. Für Flüssigkeiten und niedrig schmelzende Metalle und Metallegierungen sind Versuchseinrichtungen entwickelt worden und zum Teil auch in laufendem Gebrauch, die sich in ihrer Ausführungsform zum Teil grundlegend voneinander unterscheiden. Die Übertragung solcher Einrichtungen auf das hier in Frage kommende Temperaturgebiet ist jedoch entweder unmöglich oder gestattet nicht die Messung absoluter Werte.

Man kann die Verfahren zur Messung der inneren Reibung in zwei Gruppen einteilen; bei der einen bewegt sich die Flüssigkeit selbst entlang an einem festen Körper, bei der anderen bewegt sich ein fester Körper in der Flüssigkeit. In jedem Falle wird dabei die Annahme gemacht, daß die eingangs schon erwähnte Verschiebung von Flüssigkeitsschichten gegeneinander gemessen wird, und daß die Flüssigkeitsbewegung in allen Teilen laminar verläuft.

Alle zur ersten Gruppe gehörigen Viskosimeter sind nach der Poiseuille'schen Kapillarmethode gebaut worden. Man drückt durch eine Kapillare von bekanntem Querschnitt und bekannter Länge mit bekannter Kraft die zu messende Flüssigkeit. Die Berechnung der Reibungswerte erfolgt nach dem Poiseuille'schen Gesetz, wobei jedoch ein Berichtigungswert eingeführt werden muß, da die Gleichung nur bei sehr kleinen Fließgeschwindigkeiten brauchbare Werte liefert. Diese Hagenbach'sche Konstante hat einen Wert, der zwischen 1,0 und 1,2 angegeben wird. Wichtig für die Berechnung ist die genaue Ermittlung der Abmessungen der Kapillare (Lichtweite und Länge), die Bestimmung des Druckgefälles und der Zeit, sowie die Kenntnis der Dichte der betreffenden Flüssigkeit bei der Versuchstemperatur.

Von großer Bedeutung ist das Kapillarverfahren für die Viskositätsbestimmungen von Ölen geworden. Genannt seien die Viskosimeter von Ostwald[1]), von Ubbelohde[2]), das Vogel-Ossag-Viskosimeter[3]) und das Erk-Viskosimeter der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt[4]). Zur Messung der inneren Reibung von

[1]) Ostwald-Luther, Physikalisch-chemische Messungen, Leipzig 1925. 4. Auflage.

[2]) L. Ubbelohde, Zur Viskosimetrie, Verlag Mineralölforschung, Berlin W 8, 1935, S. 20.

[3]) D.R.P. Nr. 3737789, H. Vogel, L. N. 53.

[4]) S. Erk, Zähigkeitsmessungen an Flüssigkeiten. — VDI.-Verlag 1927.

Metallen wandten die Kapillarmethode an ARPI[1]), PLÜSS[2]) und SAUERWALD[3]).

Bei den Meßverfahren der zweiten Gruppe befindet sich die Flüssigkeit selbst im wesentlichen in Ruhe und in ihr wird ein fester Körper bewegt. Als Maß der Zähigkeit wird der Widerstand ausgewertet, den der feste Körper erfährt, oder die Geschwindigkeit, die er bei einem bestimmten Kraftaufwand erreicht, oder die Kraft, die er durch Vermittlung der Versuchsflüssigkeit auf einen anderen Körper überträgt. In diese Gruppe gehören die Fallkörper- und Rotationsviskosimeter.

Nach dem Grundgesetz von STOKE kann man die Viskosität aus der Fallgeschwindigkeit v einer Kugel von der Dichte ϱ_k in einer unendlich ausgedehnten Flüssigkeit von der Dichte ϱ errechnen:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot 981 \cdot r^2 \cdot (\varrho_k - \varrho)/v\,;$$

hierbei ist r der Halbmesser der Kugel in cm, v die Sinkgeschwindigkeit in cm/sek. Die Formel gilt nur für kleine Sinkgeschwindigkeiten, so daß entsprechend der HAGENBACH'schen Korrektur auch hier eine Berichtigung (LADENBURG-Korrektur) vorgenommen werden muß.

Bekannt sind die Viskosimeter von STANGE[4]) und LAWACZEK[5]), die jedoch für hohe Temperaturen nicht geeignet sind.

Zur Messung der Zähigkeit von geschmolzenen Gläsern und Schlacken ist eine Versuchseinrichtung in Anwendung gekommen, bei der die Geschwindigkeit gemessen wird, mit der bei gegebener Temperatur eine Platinkugel unter Anwendung einer bestimmten Kraft aus der Schmelze gezogen wird[6]). Genannt sei das Kugelziehviskosimeter nach HÄHNLEIN[7]). Bei der Berechnung der Viskosität aus Meßergebnissen dient die STOKE'sche Formel als Grundlage, jedoch bekommt sie eine unübersichtliche Form, da außer der Kugel der Aufhängestab berücksichtigt werden muß, außerdem hat es sich als notwendig erwiesen, eine Apparatekonstante, die durch Eichversuche mit bekannten Flüssigkeiten ermittelt wird, einzuführen.

[1]) R. ARPI, Z. Metallkunde **5** (1914), 142.

[2]) M. PLÜSS, Z. anorg. allg. Chem. **93** (1915), 1.

[3]) F. SAUERWALD, Z. anorg. allg. Chem. **135** (1924), 255; **157** (1926), 177; **161** (1927), 51, sowie K. GERING, Dissertation Breslau 1935.

[4]) M. STANGE, Handbuch der Experimentalphysik IV, 4. Teil, S. 515.

[5]) S. ERK, Forschungsarbeiten der Physik.-Technischen Reichsanstalt, Heft 288, S. 46.

[6]) Glastechnische Berichte **11** (1933), 163.

[7]) K. ENDELL, Metall u. Erz (1934), 353.

Die Rotationsviskosimeter sind so beschaffen, daß während des Versuchs entweder wechselnde oder gleichbleibende Drehrichtung auftritt.

Bei der ersten Art bewegt sich ein an einem tordierenden Draht aufgehängter Drehkörper (Kugel, Zylinder, Scheibe) um eine Achse: Durch die umgebende oder im Innern des Drehkörpers befindliche Flüssigkeit wird die Bewegung gehemmt und aus der daraus verbrauchten Arbeit kann der Reibungswert η berechnet werden, z. B. durch Feststellung des logarithmischen Dekrementes der Schwingung.

Zur Messung der Zähigkeit einer Salzschmelze bei höherer Temperatur wurde dieses Verfahren erstmalig von Fawsitt[1]) benutzt. Thielmann und Wimmer[2]) arbeiteten ebenfalls nach dieser Methode. Da infolge meßtechnischer Gründe die mathematische Formel zur Errechnung von η nicht erfüllt ist, waren letztere Bearbeiter auf Eichung ihrer Versuchseinrichtung mit bekannten Stoffen angewiesen, wodurch die Möglichkeit, unmittelbar Absolutwerte zu bestimmen, entfiel.

Auf dieser Arbeit fußt eine neuere über die innere Reibung von flüssigem Roheisen von H. Esser, Fr. Greis und W. Bungardt[3]). Aber auch hier müssen die Verfasser Apparaturbeiwerte anwenden und schreiben darüber: Wegen der absoluten Genauigkeit der mitgeteilten Ergebnisse ist man von den gewählten Eichstoffen und ihren η- und ϱ-Werten abhängig. Als Eichstoffe wurden Blei, Antimon und Zinn benutzt mit Werten aus Veröffentlichungen in den Jahren 1915 bzw. 1924 und den nicht zuverlässig bekannten Dichten dieser Metalle bei den Vertuchstemperaturen.

Bei der zweiten Art von Rotationsviskosimetern wird die zwischen zwei konzentrischen Zylindern auftretende Couette-Strömung, die durch die Drehung des äußeren Zylinders mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit ω um den feststehenden inneren Zylinder entsteht, ausgewertet. Theoretisch ist dieser Vorgang von Margules[4]) behandelt worden, während Couette[5]) ihn das erstemal praktisch angewandt hat.

---

[1]) C. E. Fawsitt, J. chem. Soc. London **69** (1908), 1299.

[2]) H. Thielmann u. A. Wimmer, Stahl u. Eisen **47** (1927), 389.

[3]) H. Esser, Fr. Greis u. W. Bungardt, Arch. Eisenhüttenwes. **7** (1934), 385.

[4]) M. Margules, Wiener Berichte **83** (1881), 588.

[5]) M. Couette, Ann. Chim. Phys. **6** (1890), 433.

Vorausgesetzt, daß die Strömung zwischen den Zylindern laminar ist, gilt die Gleichung:

$$\eta = \frac{M}{4\pi \cdot \omega \cdot l} \cdot \left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_a^2} \right) .$$

Hierbei ist M das am inneren Zylinder wirkende Drehmoment in dyn/cm, das beispielsweise durch einen Torsionsdraht ermittelt werden kann, ω die Winkelgeschwindigkeit des äußeren Zylinders in sec^{-1}, 1 die Länge des inneren Zylinders und r_i und r_a die Halbmesser der Zylinder. Der Torsionsdraht kann nach der Methode der Zusatzgewichte und Drehschwingungen geeicht werden. Solche Versuchseinrichtungen machen es möglich, ohne Einführung von Berichtigungswerten oder besondere Eichung absolute Reibungswerte zu berechnen.

Nach dieser Methode bestimmten Gilchrist[1]) den absoluten Wert von η für Luft und Le-Roux[2]) den von Wasser. Ebenso ist die Geeignetheit des Verfahrens für zähe Flüssigkeiten, wie z. B. Glyzerin, nachgewiesen.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Berechtigung zur Benutzung der mathematischen Formel von Margules nur dann gegeben ist, wenn die Flüssigkeitsschichten verhältnismäßig dünn sind, wenn also die Begrenzungen des Gefäßes und des Drehkörpers beide für die Reibung maßgebend sind. Im andern Falle hängt der Reibungswiderstand von aus der Grundgleichung vernachlässigten Trägheitskräften ab, deren Wirkung man nur schwer übersehen und rechnerisch erfassen kann.

Es soll nicht verkannt werden, daß die bauliche Durchbildung einer guten Versuchseinrichtung in der Vergangenheit erhebliche Schwierigkeiten bereitet hat[3]), vergleichsweise sind jedoch diese nicht höher einzuschätzen, als bei den Kapillar- oder Schwingungsverfahren.

Ein Rotationsviskosimeter ist von Matsukawa[4]) gebaut worden, jedoch ist bei dieser Versuchseinrichtung der Einfluß der Lagerreibung des Antriebes und der Führungsrollen noch so groß, daß auf die Bestimmung von absoluten Werten verzichtet werden mußte.

---

[1]) L. Gilchrist, Physik. Z. **14** (1913), 160/165.

[2]) A. Le-Roux, Compt. rend. **180** (1925), 914.

[3]) R. S. Dantuma, Z. anorg. allg. Chem. **175** (1928), 5.

[4]) T. Matsukawa, On the viscosity of Slags in molten State, Osaka, Japan, March 1935.

Eine andere Versuchseinrichtung dieser Art ist von Amerikanern entwickelt worden, sie kann als das Ergebnis langjähriger Arbeit und vieler Erfahrungen betrachtet werden [1]).

Bei einem Vergleich der aufgezählten Viskositätsbestimmungsarten kann zu der Frage nach der bestgeeigneten Methode zur Messung absoluter innerer Reibungswerte von geschmolzenen Metallen nunmehr Stellung genommen werden.

Das Kapillarverfahren, so einfach es nach der Poiseuille'schen Formel und auch versuchsmäßig erscheinen mag, erweist sich bei hohen Temperaturen als ungeeignet, da keine Aussicht besteht, feuerfeste Baustoffe zu Kapillaren zu verarbeiten, die in Größe und Querschnittsform den mathematischen Bedingungen genügen. (Der Halbmesser der Kapillare geht in der vierten Potenz in die Rechnung ein).

Das Kugelziehviskosimeter kommt nicht in Betracht, da die Genauigkeit in dem Bereich, in dem hier die Werte liegen, zu gering ist.

Die Torsions-Schwingungsmethode liefert bisher keine absoluten Werte, da Fehlerquellen unübersichtlicher Art auftreten.

Als geeignetes Verfahren für die hier vorliegenden Aufgaben ist das Rotationsviskosimeter mit gleichbleibender Drehrichtung in erster Linie anzusprechen, da es

1. für den zu untersuchenden Meßbereich empfindlich genug ist,
2. es so gebaut werden kann, daß höchste Temperaturen erreicht werden können und die Forderungen der Berechnungsformel erfüllt sind,
3. die errechneten Reibungswerte sich ohne besondere Eichung oder Berichtigung im absoluten Maßsystem ergeben, und
4. die Kenntnis der Dichte der flüssigen Schmelze nicht erforderlich ist.

Eigene Versuchseinrichtung

Die Durchführung der eigenen Versuche wurde auf der Grundlage der von Margules theoretisch entwickelten Torsionsmethode ausgeführt, bei der die Verdrehungskraft bestimmt wird, die von der in einem Tiegel rotierenden Schmelze auf eine an einem Torsionsdraht koaxial aufgehängte Spindel ausgeübt wird. Die dabei benutzte Versuchseinrichtung ist auf Grund eingehender Vorarbeiten entwickelt und in einer früheren Arbeit veröffentlicht worden. Sie

[1]) Report of Investigation, R. I. 3232, June 1934.

wird in Abb. 1 noch einmal dargestellt[1]). Einige Veränderungen und weitere Verbesserungen sollen noch hervorgehoben werden. Der um seine Senkrechtachse drehbare Ofen wurde weiter vervollkommnet, so daß er auch bei hohen Temperaturen zuverlässig und leicht regelbar blieb, seine Heizwirkung und Wärmespeicherfähigkeit wurden erhöht. Abb. 2 zeigt einen Schnitt durch den Ofen. Als Tiegel wurden Graphittiegel benutzt, die mit Magnesit umkleidet wurden, sie haben eine Lichtweite von 110 mm und eine Gesamthöhe von 350 mm. Die Badhöhe betrug bei den Versuchen etwa 130 mm. Eine Gußeisenschmelze wog ungefähr 8,5 kg.

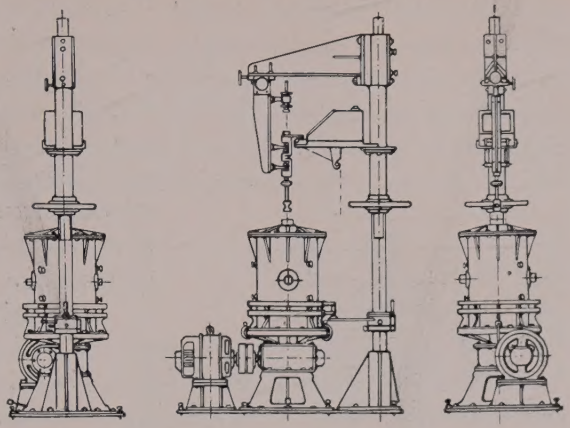

Abb. 1. Gesamtanordnung des Viskosimeters

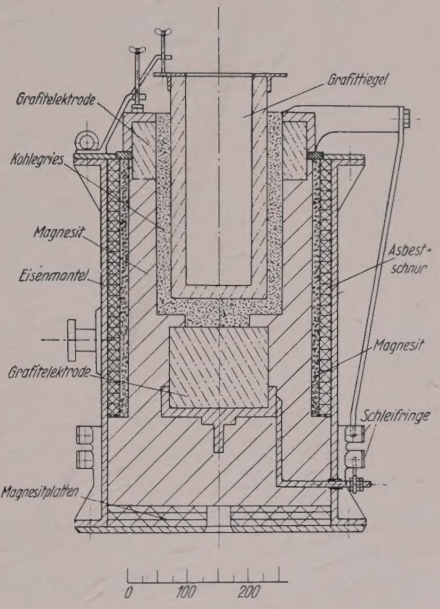

Abb. 2. Kohlegriesofen

Die Schaltung des Ofendrehmotors geht aus Abb. 3 hervor, bei dieser Schaltung wird eine sehr gleichmäßige Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht. Die Drehzahl wird unmittelbar mit einem empfindlichen Tourenzähler gemessen. Die Temperatur der Schmelze wurde ab und zu durch Eintauchen eines umhüllten Thermoelementes gemessen, nachdem jedesmal vorher der Ofen stillgesetzt worden war. Bei dem

[1]) E. Diepschlag u. F. K. Buchholz, Arch. Eisenhüttenwes. 6 (1933), 525/37.

großen Wärmeinhalt des Ofens war dieses einfache Meßverfahren völlig ausreichend.

Als Torsionselement wurde Klaviersaitendraht verwendet mit einem Torsionsmodul von $G = 0{,}8 \cdot 10^6$ kg/cm². Die Aufhängedrähte wurden von Versuch zu Versuch ausgewechselt und ihr Gleitmodul nach der Methode der Drehschwingungen mittels einer Scheibe von bekanntem Trägheitsmoment nachgeprüft.

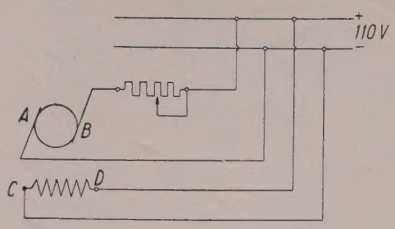

Abb. 3. Schaltbild für den inneren Antrieb

Die Spindelaufhängung geht aus Abb. 4 hervor. Die Führungsschrauben haben lediglich den Zweck, die Spindel beim Eintauchen und Herausziehen aus dem Tiegel festzuhalten. Während des Ver-

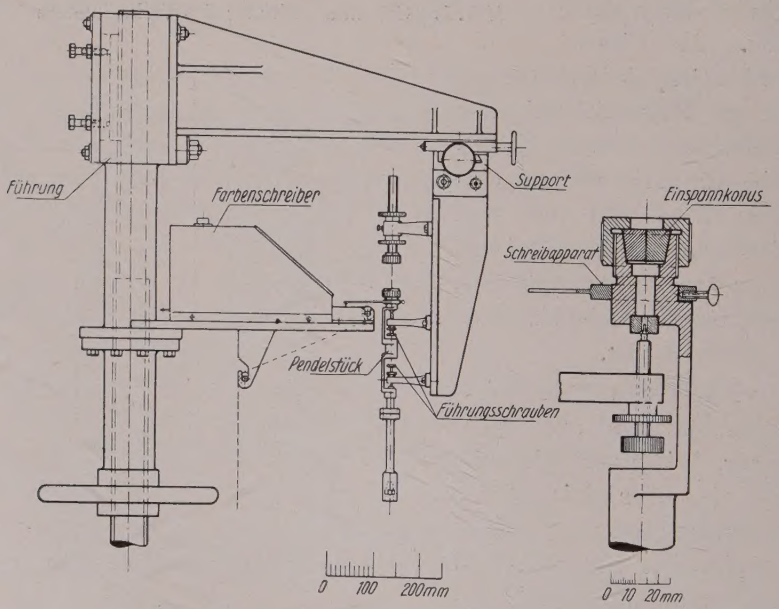

Abb. 4. Spindelanordnung

suchs dürfen sie die Führungen nicht berühren, da sonst fehlerhafte Ausschläge vorkommen.

Die Schreibvorrichtung diente schließlich nur dazu, den Verdrehungswinkel aufzuzeichnen, die zugehörige Umdrehungszahl des Ofens wurde von Hand an die zugehörige Stelle der aufgezeichneten

Linie angeschrieben, ebenso die von Zeit zu Zeit gemessene Badtemperatur. Um genaue Einzeichnungen machen zu können, wurde dem Papierstreifen ein großer Vorschub gegeben (96 cm/Stunde).

Als Werkstoff für die Tauchspindeln wurden nach zahlreichen Vorversuchen Graphitspindeln, hergestellt von der Firma Conradty, Nürnberg, als geeignet erprobt. Aus Abb. 5 ist das verschiedenartige Verhalten einiger mit verschiedenen Graphitsorten hergestellten Spindeln gegenüber flüssigem Gußeisen ersichtlich. Die in der Abbildung an dritter Stelle von links gezeigte, hatte die besten Eigenschaften, da sie selbst nach mehrmaligen Versuchen, die sich jedesmal meist über 1 Stunde hinzogen, noch genau maßhaltig und scharfkantig war. Der Einschnitt am Übergang von Schmelze zu Luft rührt von den Wirkungen von Schlackenabsonderungen her, die sich in den Versuchspausen auf der Oberfläche bilden.

Abb. 5. Spindel 4 (links) aus Graphit und Vierkantform, zum Vergleich 2 (rechts) aus Kohle und Rundform

Als Form der Spindeln wurden im allgemeinen solche mit kreisrundem Querschnitt bevorzugt, doch auch Vierkantspindeln waren genau so gut anwendbar. Ob dabei die Spindeln durch die Schmelze benetzt wurden oder nicht, war nicht von Belang, die Auswirkungen waren dieselben. Bei Versuchen an Wasser, Glyzerin, Mineralölen und auch bei Quecksilber hatte sich gezeigt, daß bei der Drehung des Ofens die Bewegung der Flüssigkeitsschichten bei den Vierkantspindeln nicht unmittelbar an der Oberfläche des Tauchkörpers begann, sondern von den Ecken der Spindeln ausging, wobei, wie aus Abb. 6 zu ersehen ist, die Kreissegmente selbst in Ruhe verharrten. Diese Ruheschicht erstreckte sich über die ganze Eintauchtiefe der Spindel. An Wasser konnte diese Erscheinung durch Einbringen von Kaliumpermanganatstäubchen gut nachgewiesen werden, während bei Ölen und auch bei Quecksilber die unterschiedlichen Bewegungen

und Geschwindigkeiten der Flüssigkeit durch Aufschütten von Kohlepulver und Sägemehl sichtbar gemacht werden konnten. Bei der Berechnung ist daher bei Verwendung von Vierkantspindeln die halbe Diagonale des Querschnitts als r_i einzusetzen. Beim Vergleich von Meßergebnissen zwischen Vierkant- und Rundspindeln an Quecksilber, Ölen, Wasser und Gußeisen ergaben sich bei gleichen Versuchsbedingungen stets übereinstimmende η-Werte.

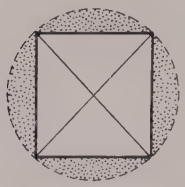

Abb. 6. Querschnitt einer Vierkantspindel mit der bei der Drehung in Ruhe verharrenden Flüssigkeitsschicht

Diese Beobachtungen an Rund- und Vierkantspindeln sind auch insofern von Wichtigkeit, als sich daraus ergibt, daß bei der vorvorliegenden Versuchseinrichtung tatsächlich die Reibung von Flüssigkeitsschicht an Flüssigkeitsschicht und nicht von Flüssigkeitsschicht an fester Wandung gemessen wird.

Einige während der Versuchszeit gesammelte Erfahrungen müssen noch beachtet werden. Die Eintauchtiefe der Spindel muß mindestens bei den gewählten Spindelabmessungen 60 mm betragen, der Bodenabstand des Spindelendes 50 mm. Zu hohe Drehzahlen des Ofens sind zu vermeiden, weil sonst störende Schwingungen auftreten und wegen der großen Umfangsgeschwindigkeit ein Paraboloid der Oberfläche erscheint, im allgemeinen ist nicht über 30 U/Minuten gegangen worden. Der Torsionsdraht muß blank und frei von irgendeinem Knick sein. Die Drahtlängen waren 100 bzw. 150 mm, der Drahtdurchmesser 0,02—0,025 mm. Die Spindelbefestigung war im Gewicht so bemessen, daß der Torsionsdraht weit unter seiner Elastizitätsgrenze nur beansprucht wurde und die Spindel in der Schmelze stets den gleichen Auftrieb erfuhr.

Haupterfordernis für eine einwandfreie Messung ist eine saubere und oxydfreie Oberfläche der Schmelze. Diese Bedingung konnte jedoch durch besondere Maßnahmen, wie beispielsweise Aufschütten von geringen Mengen Holzkohlepulver und Borax, erfüllt werden. Während der Meßpausen ließen sich Schlackentröpfchen mit einem Draht leicht entfernen. Schutz vor Oxydation durch Einleiten neutraler Gase ließ sich nicht erzielen.

Die Durchführung einer Zähigkeitsmessung an Gußeisen ging wie folgt vor sich: Nachdem das Metall eingeschmolzen und die Badhöhe gemessen ist, wird die Spindel eingesetzt und die Halteschrauben derselben gelöst, so daß sie frei in der Schmelze hängt. Das Uhrwerk der Walze, zum Aufziehen des Papierstreifens, wird in

Gang gesetzt und die Nullinie des Schreibsystems festgelegt. Die Temperatur wird durch Eintauchen des Thermoelements gemessen und darauf der Ofen in Umdrehung versetzt. Die Bildung von Oxydhäuten wird durch Aufstreuen von Holzkohlenpulver verhindert. Nachdem der Schreibzeiger einen konstanten Ausschlag zeigt, was erst nach einigen Minuten der Fall ist, wird für diesen Ausschlag die zugehörige Drehzahl auf dem Schreibstreifen vermerkt. Dasselbe wird bei verschiedenen Umdrehungszahlen des Ofens wiederholt und der Ofen wieder zum Stillstand gebracht, um festzustellen, daß sich die alte Nullinie wieder zeigt. Dabei wird wiederum eine Temperaturmessung vorgenommen. Auf diese Weise lassen sich in beliebig

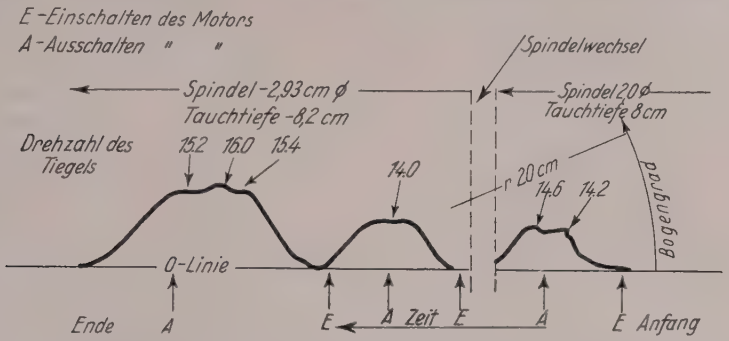

Abb. 7. Maßstreifen mit Angabe von Spindelquerschnitt, O-Linie, Temperaturen, Drehzahlen und Winkelausschlägen

langer Versuchszeit bei verschiedenen Drehzahlen und in einem beliebig großen Temperaturbereich die Messungen fortsetzen. Während dieser Zeit kann auch die Spindel zur Prüfung der Abmessungen oder zum Auswechseln herausgenommen werden.

Die Auswertung der vom Schreibwerk gezeichneten Linie erfolgt nach dem Winkelausschlag. Die Berechnung der Werte für die innere Reibung findet nach der bereits genannten Formel von Margules statt, in die für das Drehmoment M die entsprechenden Meßwerte eingesetzt werden:

$$\eta = \frac{\alpha}{\omega} \cdot \frac{G \cdot d^4 \cdot 981}{128 \cdot h \cdot l} \cdot \left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_a^2} \right) .$$

In Abb. 7 ist ein Meßstreifen zur Veranschaulichung des Vorganges wiedergegeben.

Darstellung der Ergebnisse

Zunächst sei eine Zusammenstellung einiger von früheren Bearbeitern festgestellten Meßwerte in Tabelle 1 wiedergegeben, um eine Vergleichsmöglichkeit mit den eigenen zu schaffen.

Tabelle 1

Stoff	Temp. ° C	Reibungsziffer Poise	Methode	Beobachter	Jahr
Wasser	0	0,017766	Kapillar	THORPE u. RODGER	
	10	0,013014	„	„ „	
	15	0,011324	„	„ „	
	20	0,010005	„	„ „	
	17,5	0,01067	„	„ „	1894
	17,5	0,01082	Schwingung	R. MÜTZEL	1887
	17,5	0,01069	Ablenkung	ZEMPLEN, POGANI	1916
Quecksilber	20,2	0,0155		A. SCHMIDT	1933
	20,0	0,01554		ERK	1928
	40,8	0,0145		A. SCHMIDT	1933
Zinn	255	0,0116	Kapillar	ARPI	1914
	308	0,0108	„	„	
	396	0,0100	„	„	
	507	0,0092	„	„	
	301	0,01680	„	SAUERWALD, TÖPLER	1926
	450	0,01257	„	„ „	
	300	0,0173	Schwingung	ESSER, GREIS, BUNGARDT	1934
	500	0,0120	„	„ „ „	
Kupfer	1145	0,0341	Kapillar	BIENIAS, SAUERWALD	1927
	1179	0,0319	„	„ „	
	1188	0,0325	„	„ „	
Roheisen mit 3,5 % C	1250	0,0290	Schwingung	THIELMANN, WIMMER	1927
	1350	0,0204	„	„ „	
	1400	0,0177	„	„ „	

Demgegenüber seien nun einige selbst gemessene Werte für Wasser angegeben, die unter Anwendung verschiedener Spindelabmessungen und Gefäßweiten bestimmt wurden. Die Übereinstimmung mit Werten anderer Bearbeiter ist einwandfrei vorhanden.

Tabelle 2

Wasser

Temp. ° C	Umdrehungen minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Spindelabmessungen cm	Gefäßweite cm	Reibung Poise
17	42,8	1,0	$r_i = 1{,}49$ $h = 10{,}0$*)	10,70	0,01060
17	40,0	0,9	1,49 10,0	10,70	0,01020
16	43,8	0,6	1,49 5,0**)	8,0	0,01158
17	6,5	0,55	$r_i = 2{,}75$ $h = 8{,}0$***)	10,70	0,01108
17	6,55	0,6	2,75 8,0	10,70	0,01198
18	12,8	1,0	2,75 8,0	10,70	0,01028
18	12,85	1,05	2,75 8,0	10,70	0,01072
18	26,3	2,0	2,75 8,0	10,70	0,01086
18	15,6	1,4	2,75 8,0	10,70	0,01180
18	16,2	1,4	2,75 8,0	10,70	0,01134

*) Rundspindel aus Graphit, **) aus Vulkanfiber, ***) aus Messing.

In vorstehender Tabelle ist eine Anzahl von Werten wiedergegeben worden, die unter verschiedenen Bedingungen in bezug auf Umdrehungszahl, Spindelabmessungen und Spindelbaustoff ermittelt worden sind.

Zur weiteren Prüfung der Versuchseinrichtung wurden einige Messungen an Quecksilber ausgeführt, auch sie ergeben völlige Übereinstimmung mit früheren Daten.

Tabelle 3

Quecksilber

Spindel aus Eisen: $r_i = 2{,}75$ cm; $h = 10$ cm;
Gefäßlichtweite $2r_a = 10{,}7$; Aufhängedraht: $l = 15{,}0$ cm; $d = 0{,}02$ cm

Temp. ° C	Umdrehungen minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Reibung Poise
17	7,2	1,1	0,01602
17	11,3	1,6	0,01484
17	12,0	1,8	0,01520
17	7,1	1,1	0,01625
17	5,3	0,8	0,01584

Bei Drehzahlen über 15 tritt zwischen der Spindel und dem Metallbad ein Schlupf ein — Zurückbleiben der Winkelgeschwindigkeit des Quecksilbers an der Spindel gegenüber der Geschwindigkeit des Gefäßes —, so daß zunächst ein zu geringer Ausschlag auftritt. Erst nach längerer Zeit herrscht im Gefäß überall gleiche Winkelgeschwindigkeit.

Tabelle 4

Öle

Spindel: $r_i = 1{,}45$ cm, $h = 6{,}0$ cm. Gefäßweite $2r_a = 10{,}4$ cm.
Aufhängedraht: $l = 10{,}0$ cm; $d = 0{,}025$ cm

Temp. ° C	Umdrehungen minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Reibung Poise $g \cdot sec^{-1} \cdot cm^{-1}$	Reibung Stok $cm^2 \cdot sec^{-1}$	Werte der Firma in Stok bei 50°	Werte der Firma in Stok bei 20°
			Öl I 2			
36	12,6	1,2	0,2755	0,305		
31	32,0	3,9	0,353	0,386		
20,3	11,8	2,8	0,457	0,499	0,128	0,505
19,3	11,8	3,0	0,490	0,536		
19,0	23,0	4,5	0,566	0,618		
16,0	20,0	5,2	0,752	0,822		
			Öl BD 3			
46	24,0	7,3	0,884	0,952		
30	24,2	19,3	2,310	2,480	0,605	4,94
19	7,6	14,1	5,360	5,760		
16,5	6,6	13,5	5,930	6,380		

Einige Mineralöle, die von der Rhenania-Ossag A.-G. freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden, sind in Tabelle 4 durchgemessen worden.

Der Temperaturausgleich innerhalb der Flüssigkeit dauert sehr lange. Wollte man sich besonders mit Messungen von Ölen und anderen Flüssigkeiten mit geringem Wärmeleitvermögen befassen, so müßte dieser Umstand berücksichtigt werden.

Die nächsten Messungen befassen sich mit geschmolzenen Metallen, zunächst Zinn und Kupfer.

Tabelle 5

Zinn, Kupfer

Spindel: $r_i = 1{,}5$ cm; $h = 8{,}0$ cm. Gefäßweite $2\,r_a = 11{,}0$ cm.
Aufhängedraht: $l = 10{,}0$ cm; $d = 0{,}025$ cm

Temp. ° C	Umdrehungen minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Reibung Poise	Bemerkungen
		Kupfer		Gute Ablesungen sind erst möglich, nachdem die Oberfläche mit Borax und von Zeit zu Zeit mit etwas Holzkohlepulver bestreut wurde. Zinn erhielt eine dünne Schutzschicht von Kolophonium, die ein völlig klares und oxydfreies Metallbad ergibt.
1175	15,65	2,8	0,366	
1160	17,40	4,0	0,468	
1090	20,00	6,8	0,694	
		Zinn		
270	9,70	5,2	1,092	
260	7,20	4,2	1,191	
255	11,30	6,8	1,222	
250	11,80	7,1	1,212	

Schließlich wurde eine Anzahl von Roh- und Gußeisensorten durchgemessen. Über Zusammensetzung und Vorbehandlung gibt Tabelle 6 Auskunft.

Tabelle 6

Nr.	Gehalte in %	C	Si	Mn	P	S
1	Gußeisen, Maschinenguß	2,97	2,13	0,71	0,55	0,14
2	„ „	3,07	2,56	0,85	0,59	0,14
3	„ „	3,18	1,89	0,78	0,67	0,15
4	„ „	3,40	2,36	0,61	1,45	0,04
5	Gußeisen	3,19	2,54	—	1,48	—
6	Hämatit,	3,80	2,50	0,62	0,078	0,015
7	„ umgeschmolzen	3,29	2,32	0,81	0,19	0,04
8	„ „	3,30	2,33	0,81	0,08	0,04
9	„ „	3,37	2,34	0,79	0,09	0,04
10	„ „	3,37	2,33	0,81	0,078	0,04
11	„ „	3,52	2,69	0,80	0,07	0,04
12	Holzkohlenroheisen	4,06	1,03	0,80	0,04	0,014
13	„	4,19	0,96	0,79	0,04	0,014
14	„	4,39	1,14	0,80	0,045	0,015

Meßbedingungen und Meßergebnisse sind in Tabelle 7 enthalten:

Tabelle 7

Guß- und Roheisen

Temperatur °C	Umdrehung minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Spindelabmessungen cm	Gefäßweite cm	Reibung Poise $g \cdot sec^{-1} \cdot cm^{-1}$	Aufhängedraht cm
			Nr. 1. Gußeisen (Vierkantspindel)			
1410	16,0	2,6	$r_i = 1{,}414$, $h = 7{,}86$	$2r_a = 11{,}0$	0,486	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1340	20,0	3,5	1,414, 7,86	11,0	0,525	
1360	12,0	2,3	1,414, 7,86	11,0	0,573	
1370	12,0	2,2	1,414, 7,86	11,0	0,550	
1250	10,0	1,8	1,414, 7,86	11,0	0,541	
1220			beginnende Erstarrung			
1360	9,2	4,0	$r_i = 2{,}12$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 11{,}0$	0,513	
1420	14,0	5,0	2,12, 8,0	11,0	0,422	
			Nr. 2. Gußeisen (Rundspindel)			
1305	13,0	15,8	$r_i = 1{,}5$, $h = 7{,}5$	$2r_a = 11{,}0$	0,725	$d = 0{,}020$, $l = 15{,}0$
1350	9,3	10,5	1,5, 7,5	11,0	0,675	
1440	11,0	12,5	1,5, 7,5	11,0	0,680	
1390	7,2	7,5	1,5, 7,5	11,0	0,622	
1410	9,6	11,2	1,5, 7,5	11,0	0,696	
1310	13,4	17,6	1,5, 7,5	11,0	0,782	
1300	13,4	19,3	1,5, 7,5	11,0	0,858	
1290	13,4	20,6	1,5, 7,5	11,0	0,917	
1280	13,4	23,6	1,5, 7,5	11,0	1,049	
1275			beginnende Erstarrung			
			Nr. 3. Gußeisen (Rundspindel)			
1440	16,6	5,2	$r_i = 1{,}48$, $h = 8{,}4$	$2r_a = 11{,}0$	0,632	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1440	15,6	4,8	1,48, 8,4	11,0	0,619	Temperatur während
1440	16,6	5,6	1,48, 8,4	11,0	0,680	Versuchsdauer von
1440	15,0	4,8	1,48, 8,4	11,0	0,644	80 Minuten konstant
1440	15,0	4,0	1,48, 8,4	11,0	0,536	gehalten.
1440	15,6	4,9	1,48, 8,4	11,0	0,633	
1440	15,0	4,5	1,48, 8,4	11,0	0,604	
1435	15,6	4,9	1,48, 8,4	11,0	0,633	
			Nr. 4. Gußeisen (Rundspindel)			
1470	15,6	6,5	$r_i = 1{,}46$, $h = 7{,}05$	$2r_a = 11{,}2$	0,978	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1405	14,2	5,6	1,46, 8,1	11,2	0,993	
1400	16,6	6,5	1,46, 7,38	11,2	0,920	
1355	14,6	5,5	1,46, 7,08	11,2	0,922	
1350	15,6	5,9	1,46, 7,08	11,2	0,924	
			Nr. 5. Gußeisen (Rundspindel)			
1375	13,0	7,3	$r_i = 1{,}4$, $h = 7{,}85$	$2r_a = 11{,}2$	1,358	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1375	14,0	7,2	1,4, 7,85	11,2	1,292	Bad unruhig, feine
1375	9,0	4,3	1,4, 7,85	11,2	1,157	Schlackenabscheidun-
1375	7,6	3,2	1,4, 7,85	11,2	1,018	gen vom Rande her.
1375	11,0	5,7	1,4, 7,85	11,2	1,252	
1415	11,6	6,0	1,4, 7,85	11,2	1,248	

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Temperatur °C	Umdrehung minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Spindelabmessungen cm	Gefäßweite cm	Reibung Poise $g \cdot sec^{-1} \cdot cm^{-1}$	Aufhängedraht cm
			Nr. 6. Hämatit (Vierkantspindel)			
1405	10,0	3,8	$r_i = 2{,}12$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 11{,}0$	0,456	$d = 0{,}025$, $l = 8{,}0$
1380	10,0	3,8	2,12, 8,0	11,0	0,456	
1355	10,0	4,1	2,12, 8,0	11,0	0,492	
1335	9,5	3,6	2,12, 8,0	11,0	0,453	
1320	9,2	4,5	2,12, 8,0	11,0	0,586	
1445	18,3	5,5	$r_i = 1{,}98$, $h = 8{,}9$	$2r_a = 11{,}0$	0,373	
1430	8,0	3,1	2,12, 8,9	11,0	0,410	
1430	11,0	5,0	2,12, 8,9	11,0	0,480	
1430	10,0	4,1	2,12, 8,9	11,0	0,433	
1350	8,0	3,0	2,12, 8,9	11,0	0,465	
			Nr. 7 und 8. Hämatit, umgeschmolzen (Rundspindel)			
1450	12,6	4,8	$r_i = 1{,}25$, $h = 8{,}9$	$2r_a = 11{,}0$	1,035	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1410	15,6	6,0	1,25, 8,9	11,0	1,043	
1410	15,0	5,8	1,25, 8,9	11,0	1,050	
1345	15,0	6,7	1,45, 8,95	11,0	0,893	
1455	9,4	3,9	$r_i = 1{,}41$, $h = 7{,}8$	$2r_a = 10{,}8$	0,990	
1455	9,8	4,6	1,41, 7,8	10,8	1,120	
1455	15,0	6,9	1,41, 7,8	10,8	1,108	
1455	14,6	7,2	1,41, 7,8	10,8	1,173	
1455	15,0	7,5	1,41, 7,8	10,8	1,119	
1440	10,8	11,2	2,12, 7,84	10,8	0,996	(Vierkantspindel)
1440	11,0	12,2	2,12, 7,84	10,8	1,048	
1370	11,0	12,2	1,31, 7,73	10,8	1,048	
1370	11,2	4,0	1,31, 7,73	10,8	1,012	
1370	12,2	4,3	1,31, 7,73	10,8	1,005	
1365	19,6	6,9	1,31, 7,73	10,7	1,035	
			Nr. 9. Hämatit, umgeschmolzen (Vierkantspindel)			
1410	21,6	4,0	$r_i = 1{,}414$, $h = 7{,}8$	$2r_a = 10{,}7$	0,651	$d = 0{,}025$, $l = 8{,}0$
1400	21,4	3,6	1,414, 7,8	10,7	0,622	
1395	22,0	4,1	1,414, 7,8	10,7	0,655	
1380	21,6	4,5	1,414, 7,8	10,7	0,733	
1380	22,6	5,2	1,414, 7,8	10,7	0,810	
1370	22,4	4,8	1,414, 7,8	10,7	0,752	
			Nr. 10. Hämatit, umgeschmolzen (Vierkantspindel)			
1370	18,0	8,7	$r_i = 1{,}89$, $h = 7{,}8$	$2r_a = 10{,}70$	0,769	$d = 0{,}025$, $l = 8{,}0$
1370	13,6	5,8	1,89, 7,8	10,70	0,680	
1370	15,0	6,5	1,89, 7,8	10,70	0,691	
1365	13,0	5,8	1,89, 7,8	10,70	0,711	
1365	14,8	6,7	1,89, 7,8	10,70	0,722	
1365	17,4	8,5	1,89, 7,8	10,70	0,779	
1365	18,0	9,5	1,89, 7,8	10,70	0,813	
1340	11,0	5,1	1,89, 7,8	10,70	0,738	
1340	11,6	5,6	1,89, 7,8	10,70	0,768	
1310	18,6	9,0	1,89, 7,8	10,70	0,772	
1310	12,8	6,8	1,89, 7,8	10,70	0,845	
1310	12,0	5,6	1,89, 7,8	10,70	0,743	

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Temperatur °C	Umdrehung minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Spindelabmessungen cm	Gefäßweite cm	Reibung Poise $g \cdot sec^{-1} \cdot cm^{-1}$	Aufhängedraht cm
			Nr. 11. Hämatit, umgeschmolzen (Vierkantspindel)			
1400	16,6	6,9	$r_i = 1{,}41$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 10{,}8$	1,018	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1380	15,6	6,1	1,41, 8,0	10,8	0,963	
1360	15,2	5,9	1,41, 8,0	10,8	0,953	
1360	15,8	6,2	1,41, 8,0	10,8	0,965	
1360	17,2	6,9	1,29, 8,0	10,8	1,037	
1360	15,8	6,2	1,21, 8,0	10,8	1,079	
1360	15,2	5,6	1,21, 8,0	10,8	1,010	
1360	10,2	3,9	1,29, 8,0	10,8	0,990	
			Nr. 12. Holzkohlenroheisen (Rundspindel)			
1450	14,6	6,5	$r_i = 1{,}45$, $h = 8{,}2$	$2r_a = 11{,}2$	0,941	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1430	14,6	2,8	0,98, 8,1	11,2	1,060	
1420	14,6	2,8	0,98, 8,1	11,2	1,060	
1405	14,6	5,0	0,98, 8,2	11,2	0,724	
1405	15,4	6,5	0,98, 8,2	11,2	0,941	
			500 g Ferrosilizium zugesetzt			
1445	10,6	5,5	$r_i = 1{,}49$, $h = 7{,}8$	$2r_a = 11{,}2$	1,109	
1445	11,6	6,1	1,49, 7,8	11,2	1,124	
1435	30,0	6,4	1,0, 7,7	11,2	1,066	
1405	20,0	5,2	1,0, 7,7	11,2	1,300	Chemische Zusammensetzung: 3,53 % C 3,58 % Si
1360	11,2	6,2	1,49, 7,8	11,2	1,184	
1330	17,0	4,0	1,0, 7,7	11,2	1,176	
1325	7,6	4,5	1,49, 7,8	11,2	1,266	
1265	14,6	3,8	1,0, 7,7	11,2	1,302	
1175			beginnende Erstarrung			
			Nr. 13. Holzkohlenroheisen (Vierkantspindel)			
1420	13,8	7,5	$r_i = 1{,}414$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 11{,}0$	1,260	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1365	13,6	5,6	1,414, 8,0	11,0	0,958	
1365	14,6	6,2	1,414, 8,0	11,0	0,991	
1340	13,8	5,8	1,414, 8,0	11,0	0,979	
			520 g Ferrosilizium zugesetzt (40 %)			
1440	13,8	9,0	$r_i = 1{,}414$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 11{,}0$	1,464	Chem. Zusammensetzg.: 3,3 % C 3,27 % Si
1420	14,2	9,5	1,414, 8,0	11,0	1,558	
1415	9,2	5,5	1,414, 8,0	11,0	1,392	
			Nr. 14. Holzkohlenroheisen (Vierkantspindel)			
1460	15,6	5,7	$r_i = 1{,}414$, $h = 8{,}0$	$2r_a = 10{,}8$	0,935	$d = 0{,}025$, $l = 10{,}0$
1450	16,2	6,1	1,414, 8,0	10,8	0,963	
1450	15,8	6,0	1,414, 8,0	10,8	0,969	
1450	14,0	5,0	1,414, 8,0	10,8	0,914	
1440	16,6	6,0	1,414, 8,0	10,8	0,927	
1440	9,8	4,0	1,414, 8,0	10,8	0,935	
1460	20,6	4,0	1,0, 8,0	10,8	0,922	(rund)
1460	16,6	3,2	1,0, 8,0	10,8	0,915	

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Temperatur °C	Umdrehung minutlich	Zeigerausschlag Winkel	Spindelabmessungen cm	Gefäßweite cm	Reibung Poise $g \cdot sec^{-1} \cdot cm^{-1}$	Aufhängedraht cm
			500 g Ferrosilizium zugesetzt			
1475	11,0	2,9	$r_i = 1{,}0$, $h = 8{,}0$	$2\,r_a = 10{,}8$	1,238	Chemische Zusammensetzung: 3,52% C 3,62% Si
1420	9,8	3,0	1,0, 8,0	10,8	1,453	
1400	10,8	3,7	1,0, 8,0	10,8	1,624	
1395	9,6	7,3	1,46, 8,0	10,8	1,590	
1355	11,8	5,2	1,46, 8,0	10,8	2,096	

Besprechung der Ergebnisse

Zunächst sei noch darauf hingewiesen, daß nicht etwa dicht nebeneinanderliegende Punkte auf dem Linienzug des Schreibstreifens für die Berechnung herangezogen worden sind, sondern immer nach Änderung der Drehzahl und nach vorhergehendem Zurückgehen auf die Nullinie durch Stillsetzen des Motors und von hier wieder ausgehend auf eine andere Umdrehungszahl.

Die Messungen ergeben eine vollständige Übereinstimmung mit den Messungen anderer Bearbeiter bei Wasser, Quecksilber und Ölen.

Bei geschmolzenen Metallen: Kupfer, Zinn und Gußeisen haben die eigenen Messungen bedeutend höhere Beträge der inneren Reibung erbracht. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden, weil, da nur mit anderen Methoden ermittelte Werte bisher vorliegen, die Vergleichsmöglichkeit fehlt. Jene Methoden arbeiten mit Berichtigungsbeiwerten, geben also nicht die Möglichkeit absoluter Messungen. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, haben nach den früheren Messungen die geschmolzenen Metalle eine innere Reibung von derselben Größenordnung wie das Wasser. Das erscheint nach allen sonst vorliegenden Erfahrungen unwahrscheinlich. Nach den eigenen Messungen hat das in Tabelle 4 genannte Öl I 2, ein dünnflüssiges Maschinenöl, dieselbe Viskosität wie das in Tabelle 7 genannte Hämatit 6. Dieser Vergleich entspricht eher den tatsächlichen Verhältnissen.

Die Temperaturabhängigkeit der inneren Reibung ist bei Zinn und besonders bei Kupfer deutlich zu erkennen. Bei den Roh- und Gußeisenarten tritt sie jedoch nicht deutlich hervor, bei einigen ist sie zu erkennen, bei den meisten jedoch nicht. Zum Teil liegt das daran, daß das durchmessene Temperaturgebiet nicht genügend groß ist, um diese Erscheinung deutlich hervortreten zu lassen. In der Hauptsache ist das Fehlen der Temperaturabhängigkeit aber mit

dem Zustand der Schmelze in Beziehung zu bringen. Wie die Beobachtungen lehrten, ist das Bad im Tiegel nie ganz ruhig, es treten oft Erscheinungen auf, die im einzelnen nicht gedeutet werden können. Wenn sie die Messungen auch nicht beeinträchtigen, so ist dieser mit „Unruhe“ zu kennzeichnende Zustand von Fall zu Fall verschieden, beispielsweise bei Nr. 6 (Tabelle 7) kaum wahrzunehmen, bei Nr. 5 sehr stark. Gußeisen ist ein Vielstoffsystem, das die Möglichkeit verwickelter innerer Vorgänge bietet.

Eine Beziehung der Viskosität zur chemischen Zusammensetzung der Eisenlegierung festzustellen, sollte im Rahmen dieser Arbeit noch nicht durchgeführt werden, weil hierfür planmäßig angelegte Reihenversuche erforderlich sind. In einigen Fällen ist dem Holzkohlenroheisen (Tabelle 7) Ferrosilizium zulegiert worden, wodurch eine erhebliche Steigerung der inneren Reibung herbeigeführt wurde. Es sei auch darauf hingewiesen, daß Nr. 6 Hämatit, das vom Hochofen gelieferte Roheisen, niedrigere Werte besitzt als dieselbe mit oder ohne Schrottzusätze im Ölofen umgeschmolzene Legierung.

Zusammenfassung

Nach Prüfung der bisher bekannten Methoden zur Bestimmung der inneren Reibung von Flüssigkeiten auf ihre Anwendbarkeit für geschmolzene Metalle und Legierungen wird ein selbst entwickeltes Viskosimeter beschrieben, das nach der Torsionsmethode arbeitet. Auf Grund von Messungen an bekannten Flüssigkeiten wird seine Geeignetheit und Genauigkeit erkannt; es gestattet, Werte für eine Reihe von Roh- und Gußeisenlegierungen zu ermitteln. Es ist ein hochempfindliches, aber leicht zu handhabendes Meßgerät.

Lebenslauf

Ich, Ernst Karl Otto Gessner wurde am 18. November 1904 als Sohn des Kaufmannes Otto Gessner in Breslau geboren. Von 1914 bis 1923 besuchte ich das Realgymnasium zum heiligen Geist in Breslau und bestand 1923 die Reifeprüfung. Nach $^1/_2$ jähriger praktischer Tätigkeit studierte ich an der Technischen Hochschule zu Breslau Eisenhüttenkunde. Nach mehrmaligen Unterbrechungen des Studiums bestand ich im Jahre 1931 das Diplom-Hauptexamen als Eisenhütteningenieur.

Seit Mai 1933 bin ich als planmäßiger Assistent, ab August 1937 als Oberingenieur am Eisenhüttenmännischen Institut der Technischen Hochschule Breslau tätig, wo ich auch vorliegende Arbeit durchführte.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig 198/38